Aus der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere sowie dem Institut für Tierzucht und Tierernährung des Fachbereichs Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin

---

Über die Lage des QRS-Vektors im EKG des Ferkels und des Läuferschweins

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von:

J o a c h i m G a u g l i t z
Tierarzt aus Celle/Niedersachsen

Berlin 1978

Journal-Nr. 881

Aus der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere sowie
dem Institut für Tierzucht und Tierernährung des Fachbereichs Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin

---

Über die Lage des QRS-Vektors im EKG des Ferkels und des Läuferschweins

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von:

J o a c h i m G a u g l i t z
Tierarzt aus Celle/Niedersachsen

Berlin 1978

Journal-Nr. 881

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Vorsitzender des FBR:	Prof. Dr. H.-H. Frey
Referent:	Prof. Dr. E. Trautvetter
Korreferent:	Prof. Dr. A. Bayer

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der Promotion: 20. Oktober 1978

GLIEDERUNG Seite

A. EINLEITUNG 1

B. LITERATURÜBERSICHT 2

1) Über Elektrokardiographische Untersuchungen an Schweinen 2

2) Zur Leistungsfähigkeit des Schweineherzens 3

3) Über morphologische Untersuchungen 5

4) Erregungsleitung- und ausbreitung 6

5) Über Vektoren 7

C. MATERIAL UND METHODE 10

1) Untersuchungsmaterial 10

2) Körperhaltung der Tiere während des Ableitens 11

3) Lage der Elektroden 11

4) Ableitungsprogramme 11

5) Bestimmung des QRS-Summenwertes 12

6) Morphologische Untersuchungen 14

D. ERGEBNISSE 14

1) Untersuchungen an 26 Ferkeln von der Geburt bis zur 6. Lebenswoche 14

2) Untersuchungen an 6 Läuferschweinen von der 6. bis zur 12. Lebenswoche 28

3) Morphologische Untersuchungen 34

E. DISKUSSION

1) Untersuchungen in den ersten 6 Lebenswochen 38

2) Untersuchungen an Läuferschweinen 40

3) Morphologische Untersuchungen 41

F. ZUSAMMENFASSUNG 43

G. LITERATURVERZEICHNIS 47

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544710_0019

A. EINLEITUNG

Herz-Kreislauferkrankungen beim Hausschwein nehmen in der Verluststatistik einen der vorderen Plätze ein. Bedingt durch diesen Umstand entstehen den Zucht- und Mastbetrieben empfindliche Verluste. Nach Untersuchungen von SOMMER (1967) betrug die jährliche Schadenssumme 29 Millionen DM.

Außerdem erfordert die zunehmende Bedeutung des Schweines als Versuchstier gesicherte Kenntnisse von der Physiologie und Pathophysiologie des Herz-Kreislaufsystems beim Schwein.

Sowohl im Hinblick auf die Verwendung des Schweins als Versuchstier als auch auf die wirtschaftlichen Verluste ist die Herz-Kreislaufforschung am Schwein in den letzten Jahren intensiviert worden. Dies gilt insbesondere für die Erforschung der rheumatoiden Klappen- und Endokarderkrankungen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mit Hilfe der auch bei anderen Tierarten und beim Menschen angewendeten Extremitätenableitungen die Reproduzierbarkeit der EKG-Registrierungen beim Ferkel und Läuferschwein zu prüfen. Dies schien besonders im Hinblick auf eine vektorielle Analyse des EKG beim Schwein in den ersten Lebenswochen von Bedeutung. Während für die klinische Arbeit am erwachsenen Schwein umfangreiche Kenntnisse auf dem Gebiet der Elektrokardiographie erarbeitet wurden, liegen für die postnatale Entwicklung meines Wissens kaum ausreichende Informationen vor. Hier sollte die postnatale Entwicklungsperiode im EKG des Ferkels untersucht werden, um beispielsweise experimentell induzierte Veränderungen am Herz-Kreislaufsystem von Ferkeln auch elektrokardiographisch erfassen zu können.

B. LITERATURÜBERSICHT

1) Über Elektrokardiographische Untersuchungen an Schweinen

Eine der ersten Veröffentlichungen, die sich mit der Elektrokardiographie beim Schwein befassen, ist die Dissertation von HAUSMANN (1934). Er verwendet für seine Untersuchungen ein Einthoven'sches Saitengalvanometer und stellt bei seinen Untersuchungen fest, daß die Kurven der EKG besonders dann einen typischen Verlauf aufweisen, wenn die Lage der Elektroden dem Verlauf der anatomischen Herzachse angepaßt wird. Zur Bestimmung der anatomischen Herzachse wird bei einem Schwein eine Gipsbreiinjektion in die Karotiden vorgenommen, ein zweites wird tiefgefroren. Nach der Eröffnung wird die Lage des Herzens im Brustkorb und somit auch die anatomische Herzachse bestimmt. Als Schnittpunkte der anatomischen Herzachse mit der Körperoberfläche werden angegeben: links, der 6. Intercostalraum dicht über dem Sternum; rechts, der Bereich 2 Finger breit unterhalb des Ohrgrundes.

KRZYWANEK und RUUD (1944) führen Untersuchungen in Beständen durch, in denen der sogenannte plötzliche Herztod der Schweine zu großen Verlusten geführt hatte. Sie wählen Ableitungspunkte, die von dem Einthoven'schen Schema abweichen, so daß sie negative P,R und T-Zacken, sowie positive S-Zacken erhalten. Daraus ergeben sich große Schwierigkeiten beim Vergleichen von Kurvenbildungen, die unter verschiedenen Ableitungsbedingungen aufgezeichnet wurden.

Umfassende elektrokardiographische und phonokardiographische Herz- und Kreislaufuntersuchungen beim Schwein werden von v. MICKWITZ (1967) vorgenommen. Er wählt zur Aufzeichnung der EKG folgende Ableitungspunkte: rechter Ohrgrund, kaudales Brustbeinende sowie die linke Kniefalte. Nach seinen Erfahrungen schaffen diese Ableitungspunkte die Möglichkeit, meßbare und reproduzierbare Elektrokardiogramme anzufertigen. Anhang elektrophonokardiographischer Untersuchungen werden Herzklappener-

krankungen beim Schwein diagnostiziert, sowie das klinische Bild des Herzinfarktes beim Schwein mit allen auftretenden Veränderungen im EKG sowie PKG beschrieben.

2) Zur Leistungsfähigkeit des Schweineherzens

Bei vergleichenden Untersuchungen über die Herzdynamik der Haustiere mit besonderer Berücksichtigung des Schweins findet SPÖRRI (1966) zwei wesentliche Unterschiede im Vergleich zu den anderen untersuchten Haustierarten (Pferd, Rind, Schaf und Ziege).

a) Die Schnelligkeit des systolischen Druckanstieges ist geringer, was eine geringere Leistungsfähigkeit bedingt und
b) ist der atriale Druckabfall, der die Blutfüllung der Vorhöfe begünstigt, beim Schwein geringer, als bei den anderen Arten.

Derselbe Autor untersucht die Systolen und Diastolendauer bei verschiedenen Haustierarten (1954). Die relative Diastolendauer ist beim Pferd am längsten, beim Schwein dagegen am kürzesten. Auch wird der Myokardfaserdicke eine große Bedeutung in Bezug auf die Möglichkeiten des Stoffaustausches beigemessen. Außerdem wird auf die Dissoziation zwischen elektrischer und mechanischer Systole hingewiesen.

Ebenfalls von SPÖRRI (1954) wird der Frage nachgegangen, ob das Schwein für den Herztod prädisponiert sei. Er kommt zu dem Ergebnis, daß die beim Schwein im Vergleich zu den anderen Tieren relativ kurze Kammersystole eine ungünstige Situation für den Stoffaustausch zwischen Blut und Muskelgewebe schafft, weil durch die zu kurze Systole eine für die vollständige Restitution des Herzmuskels notwendige Zeitspanne nicht gegeben ist. Auch die Neigung des Schweins zur Tachykardie führt zu einer weiteren Verschlechterung bzw. Verkürzung der Erholungsphase. Als Ursachen werden angesehen: evtl. exogene Faktoren wie Haltung und Fütterung, sowie endogene Faktoren

z.B. erbliche Veranlagung. Auch das in Relation zur Körpergröße zu kleine und somit zu wenig leistungsfähige Herz wird als mögliche Ursache für den Herztod in Betracht gezogen.

Die elektrokardiographischen Untersuchungen an normal und eiweißmangelernährten Schweinen, vorgenommen von HÖLLER (1959) zeigen bei den eiweißmangelernährten Schweinen im EKG Ähnlichkeiten mit dem EKG von Mensch und Hund, welches im Erschöpfungszustand aufgezeichnet wird. Bei den eiweißmangelernährten Schweinen zeigt sich im EKG eine Beeinträchtigung der Reizbildung, der Erregungsleitung- und Rückbildung. Außerdem werden verlängerte Systolenzeit, erniedrigte QRS-Amplitude, verringerte P-Amplituden und Veränderungen an der T-Zacke beobachtet.

An Hausschweinen untersucht STEINHARDT (1966) bei einer Laufleistung unter verschiedenen Umgebungstemperaturen die Rektaltemperatur, das EKG, die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz und die Atemintensität. Die Laufleistung erweist sich dabei als sehr stark abhängig von der Umgebungstemperatur. Als Ursache für die begrenzte Laufleistung wird die insuffiziente Thermoregulation angesehen. So wird die Kreislaufbelastung und die insuffiziente Thermoregulation zum leistungsmindernden Faktor, der oberhalb von 42° C Körpertemperatur zur Kreislaufinsuffizienz führt.

v. ENGELHARDT (1962) kann die Untersuchungen im Hinblick auf den Diastolen/Systolen-Quotienten, die von SPÖRRI (1954) durchgeführt wurden, auch an solchen Schweinen bestätigen, die auf einem Laufband einer körperlichen Belastung unterzogen wurden. Der Diastolen/Systolen-Quotient verringert sich von 1,22 in Ruhe auf 0,80 nach der Belastung. Ebenso fällt der systolische Blutdruck von 133 mmHg in der Ruhepause auf 123 mmHg nach der Belastung ab. Hier wird deutlich, daß durch das Absinken des Diastolen/Systolen-Quotienten bei steigender Frequenz eine ungünstige Situation für das Myokard entsteht, da die Erholungsphase zu kurz ist.

Über den Einfluß körperlicher Belastungen beim Haus- und Wildschwein berichten LYHS und WACHTEL (1966). Dabei zeigt sich, daß das Wildschwein dem Hausschwein in Bezug auf seine Leistungsfähigkeit deutlich überlegen ist. Die Ruhefrequenz des Wildschweins liegt um 24 Schläge/min. unter der des Hausschweines, auch wird nach Belastung die Ruhefrequenz schneller wieder erreicht. Auch hinsichtlich der Sauerstofftransportkapazität des Blutes ist das Wildschwein eindeutig besser gestellt.

3) Über morphologische Untersuchungen
In Bezug auf das Verhältnis der Wanddicken links bzw. rechts zueinander wird von GLAUS (1958) darauf hingewiesen, daß dieser Quotient beim Schwein altersabhängig sei. So beträgt der Wert Wanddicke links zu Wanddicke rechts bei einer Körperlänge von 45 cm 1,1 - 1,7, während er von 50 cm Körperlänge an zwischen 1,6 und 2,2 zu finden ist.

Ähnliche Messungen führen WALCH und HOSTETTER (1967) bei Beagle-Welpen durch. Sie bilden den Quotienten Wanddicke rechts zu Wanddicke links und stellen dabei fest, daß dieser Wert mit zunehmendem Alter abnimmt.

AVERILL, WAGNER und VOGEL (1963) untersuchen 78 Welpen im Hinblick auf einen Zusammenhang zwischen dem Wert RV/T (Gewicht des rechten Ventrikels im Verhältnis zum Ventrikelgesamtgewicht) und dem im rechten Ventrikel herrschenden Druck. Sie finden eine auffällige Parallelität in der Entwicklung dieser beiden Größen. Der Wert RV/T% (Gewicht des rechten Ventrikels prozentual zum Ventrikelgesamtgewicht) sinkt von 44,2 auf 27,0 in den ersten 4 Lebenswochen, d. h. die Wandstärke des rechten Ventrikels nahm im Verhältnis zu der des linken ab. Des Weiteren ergeben die Untersuchungen des systolischen Blutdrucks im rechten Ventrikel, daß sich dieser Wert im Verlauf der ersten Lebenswoche dem Blutdruckwert bei erwachsenen Tieren angleicht.

Nach YUANG und RUDOLPH (1964) kommt es nach der Geburt zu einem schnellen Wachstum des linken Ventrikels mit einem Zunehmen der Wandstärke, während der rechte Ventrikel nur langsam wächst und die Wandstärke erhalten bleibt. Es handelt sich also nicht um eine Atrophie der Wand des rechten Ventrikels, sondern vielmehr um eine Verschiebung der Relationen.

Die Ergebnisse der von RUDOLPH et al. (1961) durchgeführten Untersuchungen weichen hinsichtlich der Änderund der Blutdruckwerte etwas von den von o. a. Autoren gefundenen Werten ab. So kommt er zu dem Ergebnis, daß der systolosche Druck im rechten Ventrikel etwa am 10. Lebenstag den Erwachsenenwert annähernd erreichen kann. Stabile gleichmäßige Druckwerte werden erst im Alter von 5 - 6 Wochen gefunden.

4) Erregungsleitung- und Ausbreitung

HOLL (1912) befaßte sich als einer der ersten mit dem Reizleitungssystem des Schweineherzens. Genauere Untersuchungen des Atrioventrikularbündels bei Rind, Ziege, Schaf, Schwein und Pferd wurden von KAMMERMANN (1923) durchgeführt. Aufgrund seiner genauen makroskopischen und mikroskopischen Untersuchungen macht er detaillierte Angaben über den Verlauf des AV-Bündels bei den o. a. Spezies.

Nach HAMLIN, SMITH (1965) ist zwischen zwei Gruppen ventrikulärer Erregungsausbreitung zu unterscheiden. Ihnen zufolge unterscheidet sich die eine Gruppe, bestehend aus Pferd, Ziege, Rind, Schwein und Schaf insbesondere darin von der zweiten Gruppe (Mensch, Hund, Affe, Katze und Ratte), daß nach der apikal gerichteten Depolarisation, die bei beiden Gruppen auftritt, die Erregungswelle von der linken Ventrikelspitze aus in zwei Fronten größtenteils durch das Septum basiswärts verläuft, während bei den Spezies der zweiten Gruppe an drei Depolarisationspunkten erst die Wände und dann gleichmäßig die Basis erregt wird.

WENSING (1965) stellt fest, daß Reizerregung und Reizleitung im Schweineherzen neurogener Natur sind. Ihm zufolge verläuft die Reizleitung zwischen SA- und AV-Knoten durch Nervenfasern und nicht durch Muskelfäden, so daß die Anwesenheit von Nervenstruktur in diesem Teil des Reizleitungssystems als erwiesen angesehen werden kann.

5) Über Vektoren

Als Vektor bezeichnet man eine physikalische Größe, welche Länge und Richtung hat (gerichtete Größe), im Gegensatz zu den ungerichteten skalaren Größen. Zu seiner Darstellung bedient man sich eines Pfeils, dessen Länge die Größe und dessen Richtung die Richtung des Vektors angibt. Die bei der Erregung einer Muskelfaser auftretende elektrische Spannungsgröße gehört zu den gerichteten Größen und kann demzufolge als Vektor dargestellt werden. So ist z. B. im EKG ein Vektor dann in voller Länge aufzuzeichnen, wenn die ableitenden Elektroden in der Ausbreitungsrichtung der Kammererregung liegen. Dies ist in der annähernd parallel zur elektrischen Herzachse verlaufenden Ableitlinie der Ableitung II der Fall. Hier finden sich die höchsten Kurvenausschläge, die im Normalfall aufwärts gerichtet sind. So zeigen z.B. die Untersuchungen der Vektoren im EKG des gesunden Hundes von KÜHN (1968), daß die Zacken von P, R, S und T in Ableitung II am höchsten sind, d.h. daß die Vektoren in die Richtung der Ableitlinie II weisen. Vergleichende Untersuchungen zwischen den Ableitungen in Brust-Bauch-Lage bzw. in rechter Seitenlage ergeben, daß die elektrische Herzachse in beiden Lagen die gleiche Position aufweist.

Eine Bestimmung der Vektorschleifen im Kammerteil des EKG bei Pferden wird von WOLTERS (1974) vorgenommen. Er beschreibt die Richtungen der Hauptvektoren im Kammeranfangskomplex und gibt diese mit kraniodorsal (Q), kaudoventral (R) und links kraniodorsal (S) an.

Die EKG-Entwicklung von gesunden Welpen und solchen mit angeborenen Pulmonalstenosen wird von TRAUTVETTER (1971) beschrieben. Mit zunehmendem Alter zeigen die Welpen einen Wechsel von rechts und kranial zu links und kaudal zeigenden Vektoren in der Frontalebene. Die gesunden Tiere weisen ab der vierten Lebenswoche in der Frontal-, sowie Transversal und Sagittalebene nach links und kaudal bzw. ventral gerichtete Vektoren auf.

Eine Untersuchung der Änderung des QRS-Komplexes innerhalb des ersten Lebensjahres beim Fohlen wird von DEEGEN, HOLSTEN und MATTHIESEN vorgenommen.

Sie ermitteln aus den Extremitätenableitungen die Hauptvektoren für die frontale Ebene. Als Elektroden finden "Krokodilklemmen" Verwendung. Trotz einer großen individuellen Streubreite zeigt sich eine Rotation des Vektors im Uhrzeigersinn von -45^{o} im Säuglingsalter zu $+ 7{,}7^{o}$ im Jährlingsalter. Untersuchungen hinsichtlich der Muskelmassenverteilung von linker und rechter Herzkammer zeigen, daß eine Verschiebung von der sog. "physiologischen Rechtshypertrophie" im Fohlenalter (links:rechts = 1:1) zur sog. "physiologischen Linkshypertrophie (links:rechts = 2:1) im Jährlingsalter auftritt.

Eine Untersuchung des EKG beim Hund bei standardisierten Körper- und Extremitätenhaltungen während des Ableitens wird von HILL (1968 a) durchgeführt. Sämtliche EKG wurden von unsedierten Hunden aufgezeichnet, die sich während des Ableitens in rechter Seitenlage befanden. Kopf, Hals und Beine waren so gelagert, daß ihre Position der eines auf allen vier Beinen stehenden Hundes entsprach. Als Elektroden fanden Alligatorklemmen Verwendung, die Aufzeichnungen wurden mit einem 1-Kanalschreiber durchgeführt. Bei 83 % der Tiere verläuft der QRS-Vektor in der Frontalebene zwischen $+45^{o}$ und$+90^{o}$, während in der Transversal- und Sagittalebene etwas größere Abweichungen gefunden werden.

Derselbe Autor (HILL,1968 b) überprüft den Einfluß verschiedener Haltungen der Vorderextremitäten auf das Elektro- und Vektorkardiogramm beim Hund. Dabei zeigt sich sehr deutlich, daß Verlagerungen der Vorderextremitäten zu signifikanten Veränderungen im EKG führen. In der Hauptsache betrifft dies den QRS-Komplex, während die Veränderungen an der P- und T-Welle von geringerem Ausmaß sind.

Eine 16-tägige Verlaufsuntersuchung an drei Hunden, bei denen die EKG immer in derselben Körperhaltung abgeleitet wurden, zeigt dagegen kaum Veränderungen der Kurvenzüge im EKG. Die vektorkardiographischen Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, daß eine Verlagerung der Vorderextremitäten einer Veränderung des Vektorverlaufs zur Folge hat. Dies ist hauptsächlich der Fall in der Frontal- und Transversalebene, während die Veränderungen in der Sagittalebene nur geringfügig sind.

C. MATERIAL UND METHODE

1) Untersuchungsmaterial

Für die Anfertigung der EKG in der 1. Gruppe (1. bis 6. Lebenswoche) standen 26 Ferkel der Deutschen Landrasse zur Verfügung, davon waren 8 Tiere männlichen und 18 Tiere weiblichen Geschlechts.
So weit es möglich war, wurde das erste EKG noch am Tage der Geburt aufgezeichnet, um zu einem möglichst frühen Zeitpunkt die zur Auswertung notwendigen Werte zu erhalten. Im Folgenden wurden dann in der ersten Lebenswoche bis zu 4 EKG pro Tier aufgezeichnet, von der zweiten Lebenswoche an wurde in wöchentlichen Abständen jeweils ein EKG bis zum Erreichen der sechsten Lebenswoche angefertigt.

Weiterhin wurden in einer 2. Gruppe von 6 Läuferschweinen der Deutschen Landrasse zwischen der 6. und der 12. Lebenswoche in unregelmäßigen Abständen EKG in Brustbauchlage (BBL) und in rechter Seitenlage (RSL) abgeleitet, um festzustellen, ob auch in diesem Lebensalter mit der angewendeten Technik sicher zu reproduzierende Kurven ohne wesentliche Änderungen im Achsenverlauf zu registrieren waren. In dieser Gruppe befanden sich je drei weibliche und drei männliche Tiere. Die untrainierten Schweine dieser Gruppe wurden vor dem Aufzeichnen der EKG mit einer Dosis von 0,5 mg/kg AZAPERON^{+} sediert, um die von der Hilfsperson nicht mehr zu kontrollierenden Abwehrbewegungen auszuschließen. Außerdem wurden zu vergleichenden Untersuchungen der Ventrikelwanddicken die Herzen von Ferkeln untersucht, die entweder tot geboren wurden oder im Verlauf der ersten 6 Lebenswochen verstarben bzw. getötet werden mußten. Dieselben Messungen wurden auch an Herzen von Schlachtschweinen mit einem Körpergewicht von 90 bis 120 kg vorgenommen.

$^{+}$STRESNIL

2) Körperhaltung der Tiere während des Ableitens

Der Körper des zu untersuchenden Tieres wurde von einer Hilfsperson in der Hals- und der Beckenregion so unterstützt, daß die Vorderextremitäten sich im rechten Winkel zur Wirbelsäule befanden und von der Seite gesehen kongruent waren. In den ersten drei Wochen wurden die Tiere dabei unter eine Rotlichtlampe gebracht, um ein Muskelzittern zu vermeiden. In der Mehrzahl der Fälle genügte als Wärmequelle eine Rotlichtlampe und ruhiges Verhalten der im Versuchsraum anwesenden Personen, um die Tiere relativ schnell einschlafen zu lassen, so daß ungestörte EKG aufgezeichnet werden konnten. Auf diese Art und Weise gewöhnten sich die Tiere recht schnell an die Ableitungsprozedur, so daß der Umgang und das Arbeiten mit den Ferkeln relativ einfach war.

3) Lage der Elektroden

Als Elektroden wurden Krokodilklemmen an den Vorderextremitäten 2 cm distal vom Olekranon und an der linken Hinterextremität 2 cm proximal von der Patella befestigt. An der rechten Kniefalte wurde die Erdelektrode angebracht. Um den Kontakt der Elektroden mit der Haut zu gewährleisten, wurden die Haut und die Spitzen der Krokodilklemmen mit Alkohol angefeuchtet. Außerdem wurde die Zahnung der Krokodilklemmen etwas abgeflacht, um Hautläsionen zu vermeiden. Zur Aufzeichnung der EKG wurde ein tragbarer Einkanalschreiber der Firma SIEMENS mit der Typenbezeichnung CARDIOSTAT verwendet.

4) Ableitungsprogramme

Folgende Ableitungsprogramme kamen zur Anwendung:

a) Bipolare Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN
b) Unipolare Eytremitätenableitungen nach WILSON/GOLDBERGER

zu a) Die einzelnen Ableitungen enstehen durch die Verbindung folgender Punkte miteinander:

Ableitung I: Rechte Vorderextremität -
linke Vorderextremität
Ableitung II: Rechte Vorderextremität -
linke Hinterextremität
Ableitung III: Linke Vorderextremität -
linke Hinterextremität

zu b) Beim Aufzeichnen der unipolaren Extremitätenableitungen nach WILSON wird von einer Extremität, an der die differente Elektrode liegt, gegen WILSONS Central-Terminal, einen neutralen Punkt, in dem alle drei Extremitätenpole zusammengeschlossen sind, abgeleitet. Nach GOLDBERGER wird zur Bildung des Neutralpunktes der Extremitätenpol weggelassen, an dem die differente Elektrode liegt.

Die Ableitungen wurden in der Reihenfolge I, II, III, aVR, aVL sowie aVF geschrieben. Die Geschwindigkeit des Registrierpapiers betrug in jeder Ableitung sowohl 25 als auch 50 mm/sec., da bei sehr hohen Herzfrequenzen oder zu geringen Ausschlägen eine Registrierung mit 50 mm/sec. ein "Auseinanderziehen" der EKG-Kurven bewirkt und somit eine bessere Übersichtsmöglichkeit schafft. Für die Auswertung wurden die Höhe der Ausschläge von Q, R und S gemessen, sowie die Summe von QRS gebildet. Die Bestimmung dieser Werte erfolgte jeweils aus den Ableitungen I und aVF. Von jeder Ableitung wurden wie üblich 5 EKG-Abläufe beurteilt und die für die einzelnen Kurvenausschläge gefundenen Werte gemittelt.

5) Bestimmung des QRS-Summenwertes

Die Höhe für Q, R und S wurde vom Mittel zwischen PQ und ST aus bestimmt. Die Addition dieser Werte ergibt dann den QRS-Summenwert.

Beispiel:

	Q	R	S	Summe von QRS
Ableitung I	-	+4	-1	+3
Ableitung aVF:	-1	+6	-2	+3

In Abbildung 1 ist der aus den Ableitungen I bzw. aVF ermittelte Summenwert Q, R und S auf einem Koordinatensystem eingetragen.

In dem hier angeführten Beispiel wäre sowohl auf der Abszisse wie auf der Ordinate in + 3 die Senkrechte zu errichten und der aus diesen beiden Linien entstehende Schnittpunkt mit dem Nullpunkt zu verbinden, um die Größe und Richtung des Vektors zu verdeutlichen.

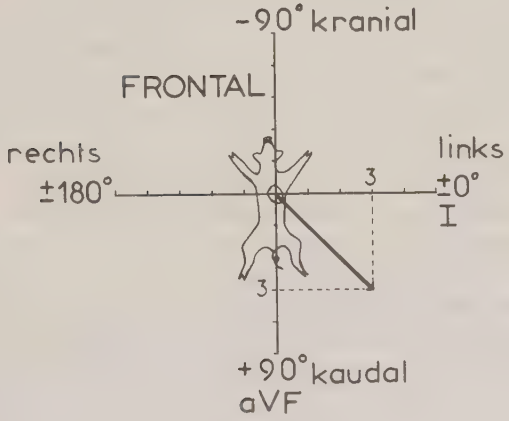

Abb. 1) Graphische Darstellung des QRS-Summenvektors in der Frontalebene. Die Lagerung von 0^{o} bei "3 Uhr" wird der Empfehlung von HELM (1956) folgend vorgenommen. In diesem Fall läge der frontale Vektor bei 45^{o}. In dieser und den folgenden Vektordarstellungen stellen die eingezeichneten Pfeile die Größe und Richtung der Vektoren dar.

6) Morphologische Untersuchungen

Die zu untersuchenden Herzen der bis zu 6 Wochen alten Ferkel wurden in 37 %igem Formaldehyd fixiert und dann eröffnet und in Hinsicht auf die Ventrikelwandstärke links bzw. rechts untersucht, während die Messungen an den Herzen der ausgewachsenen Schweine gleich nach der Schlachtung vorgenommen wurden.
Zu diesem Zweck wurden beide Ventrikel mit einem quer über das Herz gelegten Schnitt direkt unterhalb der Vorhof-Kammergrenze eröffnet und die Wandstärke des rechten und linken Ventrikels an der dem Septum gegenüberliegenden Seite gemessen. Die Papillarmuskulatur wurde in die Messung nicht mit einbezogen.

D. ERGEBNISSE

1) Untersuchungen an 26 Ferkeln von der Geburt bis zur 6. Lebenswoche

Die graphische Darstellung der QRS-Summenvektoren aller 26 Versuchstiere am ersten Lebenstag zeigt eine relativ gleichmäßige Verteilung der Vektoren in den einzelnen Quadranten des Koordinatensystems. Aus diesem Grunde ist zu diesem Zeitpunkt noch keine bestimmte gemeinsame Richtung der QRS-Summenvektoren zu erkennen. In den beiden rechten Quadranten (rechts kranial und rechts kaudal) befinden sich die Vektoren von 12 Versuchstieren, während die Vektoren von 14 Ferkeln linksorientiert erscheinen, d.h. nach links kranial bzw. links kaudal verlaufen (Abb.2). Diese Vektorenverteilung verändert sich bereits in den ersten 14 Lebenstagen zugunsten der linksgerichteten Vektoren, so daß zu diesem Zeitpunkt die zahlenmäßige Zuordnung der Vektoren zu den einzelnen Quadranten des

Koordinatensystems ein numerisches Übergewicht der linksorientierten Vektoren ergibt. Am Ende der zweiten Lebenswoche befinden sich die Vektoren von 21 Ferkeln auf der linken Seite des Koordinatensystems, denen 5 rechtsgerichtete Vektoren gegenüberstehen. Auch am 28. und 42. Untersuchungstag überwiegt die Zahl der linksorientierten QRS-Vektoren, wobei Schwankungen zwischen der Rechts-Linksverteilung auftreten. Dies kommt unter anderem dadurch zum Ausdruck, daß jeweils mehrere Vektoren auf der Senkrechten bzw. Waagerechten liegen. Rechnet man die auf der Senkrechten liegenden Vektoren nach links und die auf der Waagerechten nach kaudal ergeben sich Zahlenverhältnisse wie sie in den Abb. 2 und 3 rechts unten angegeben sind.

Im Untersuchungszeitraum war eine systematische und deutliche Amplitudenzunahme der Kammerkomplexe nicht festzustellen. Entgegen unserer Erwartung zeigten die untersuchten Ferkel in den ersten Lebenstagen in der Mehrzahl der Fälle größere Kammervektoren als gegen Ende der Untersuchungsperiode. Während die e i n z e l n e n Zacken des Kammerkomplexes abhängig von der überwiegend negativen oder positiven Ausschlagsrichtung im Einzelfall durchaus zunehmen können, wird die Höhe der QRS-Summe durch annähernd gleich große positive und negative Deflektionen im Sinne einer Minderung der Vektorgröße beeinflußt.

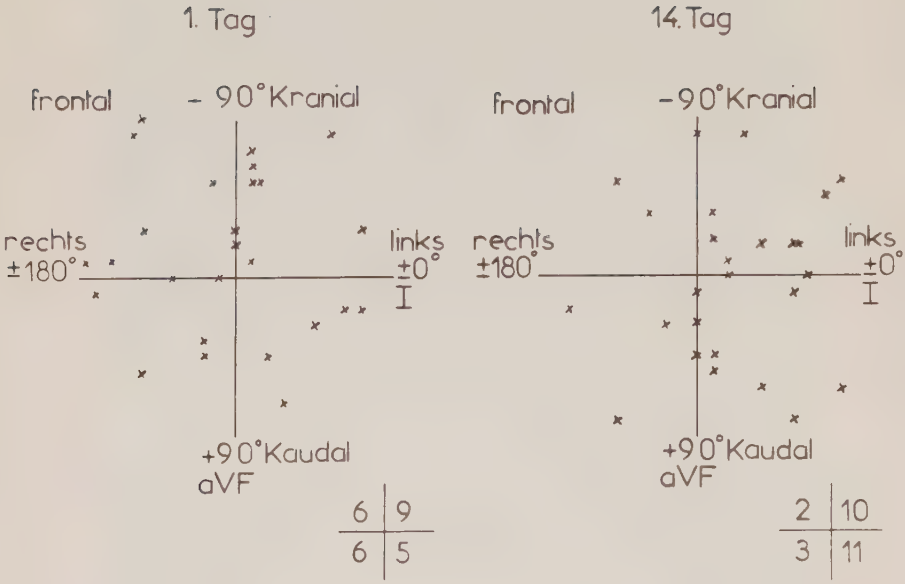

Abb. 2) Verteilung der QRS-Vektoren am 1. und 14. Lebenstag. In den mit Zahlen versehenen Verteilungsschemata, Koordinatenkreuze rechts unten im Bild, sind die auf der Senkrechten liegenden Vektoren den links- und die auf der Waagerechten liegenden den kaudalorientierten Vektoren zugerechnet worden.
Am ersten Lebenstag keine einheitliche Richtung der Vektoren, sondern relativ gleichmäßige Verteilung über die 4 Quadranten. Am 14. Tag vermindert sich die Zahl der rechtsorientierten Vektoren. Folgt man dem o.a. Einteilungsprinzip, dann erscheinen nur 5 von 26 Vektoren rechtsorientiert.

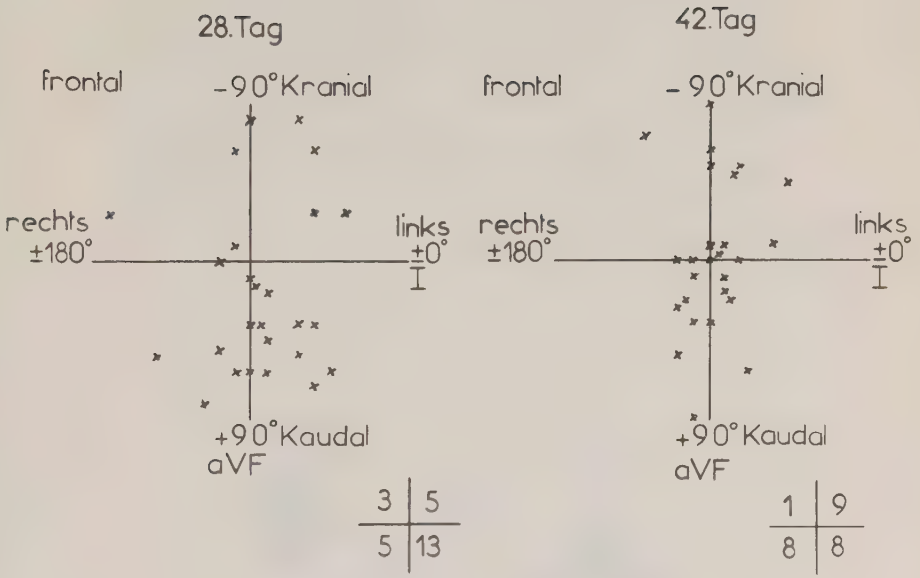

Abb. 3) Verteilung der QRS-Vektoren am 28. und 42. Tag. Nach einem Verhältnis von 5 rechts - zu 21 linksorientierten Kammervektoren am 14. Untersuchungstag zeigen sich mit 8:18 und 9:17 am 28. und 42. Tag zwar Veränderungen in der Relation der Rechts-Linksverteilung, jedoch vereinheitlicht sich das Verteilungsmuster.

Betrachtet man die Gesamtheit der QRS-Vektoren der einzelnen Tiere der 1. Gruppe (1. bis 6. Lebenswoche) so ergeben sich bei 14 Ferkeln Gemeinsamkeiten im Vektorverlauf. Hier fallen 3 Vektormuster auf, die in Abbildung 4 in den Koordinatenkreuzen dargestellt sind. Die Vektoren dieser 3 Muster liegen in den schwarzen Sektoren und zwar während der gesamten sechswöchigen Untersuchungszeit.
Die Vektoren der übrigen 12 Ferkel wechselten im Untersuchungszeitraum zwischen den einzelnen Quadranten des Koordinatensystems, so daß ein bestimmtes Vektormuster nicht erkennbar war.

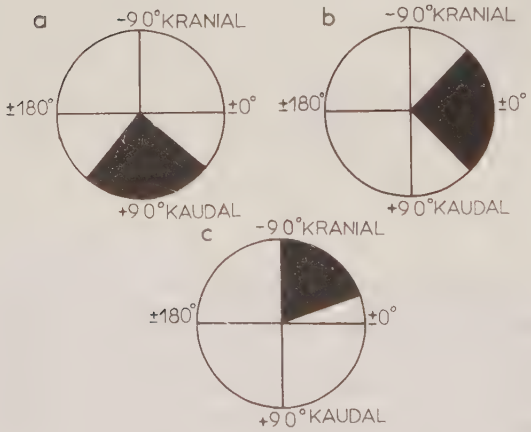

Abb. 4) Schematische Darstellung der für die 3 verschiedenen Vektor-Muster (a - c) gefundenen Sektoren.

Beispiele für die Vektormuster a bis c

a) Bedingt durch eine fortlaufend positive QRS-Summe in Ableitung aVF und wechselnd positive und negative QRS-Summenwerte in Ableitung I kommt es bei Muster a zu einem Achsenverlauf, der wechselnd rechts wie links, aber immer kaudal orientiert ist. Diesem Sektor, der im Bereich von + 130° bis + 40° liegt, sind 5 Tiere zuzuordnen (Beispiel Abb. 5 + 6).

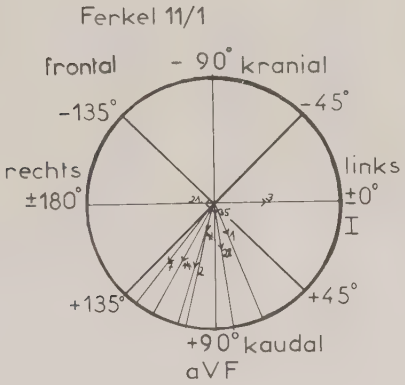

Abb. 5) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel 11/1. Durch eine in allen Fällen positive QRS-Summe in Ableitung aVF und wechselnd positive und negative QRS-Summen in Ableitung I kommt es zu einem Achsenverlauf, der sowohl rechts wie links, aber in jedem Falle kaudal orientiert ist. Am 3. und 21. Tag ist die QRS-Summe in Ableitung aVF gleich 0, so daß bei einem positiven und einem negativen QRS-Summenwert in Ableitung I der Vektor am 3. Tag linksorientiert und am 21. Tag rechtsorientiert erscheint. Die Achsen verlaufen in dem Bereich zwischen + 130° und + 68°.

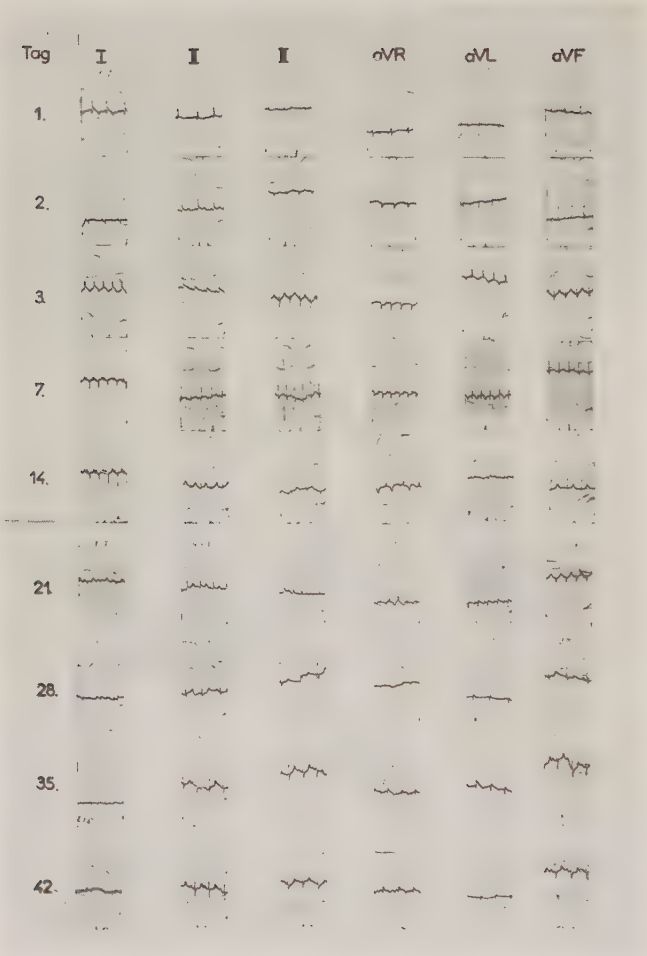

Abb. 6) Extremitätenableitung Ferkel 11/1
Abwechselnd positive und negative QRS-Summen in Ableitung I, sowie ausschließlich positive Kammerkomplexe in Ableitung aVF führen zu einem rechts wie links, aber immer kaudal orientierten Frontalvektor.

b) Bei Muster b liegt der QRS-Summenwert in Ableitung I während der gesamten Untersuchungsdauer im positiven Bereich, während der QRS-Summenwert in Ableitung aVF teils positiv teils negativ erscheint. Hier handelt es sich ausschließlich um linksorientierte Vektoren in einem Bereich von + 45° bis - 45°. Zu dieser Gruppe gehören 5 Tiere (Beispiel / Abb. 7 + 8).

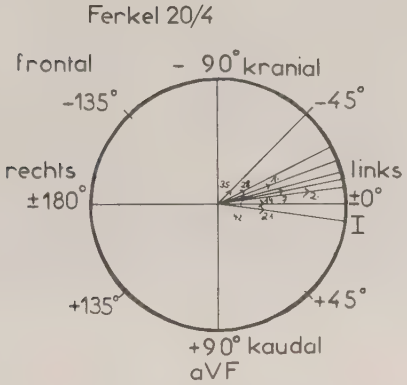

Abb. 7) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel 20/4. Bedingt durch einen fortwährend positiven QRS-Summenwert in Ableitung I und durch, bis auf eine Ausnahme, negative QRS-Summen in Ableitung aVF liegen in diesem Fall nur linksorientierte Vektoren vor. die sich im Bereich von + 7° bis - 45° befinden.

EKG Beispiele vom 1., 21. und 42. Tag vom Ferkel 20/4

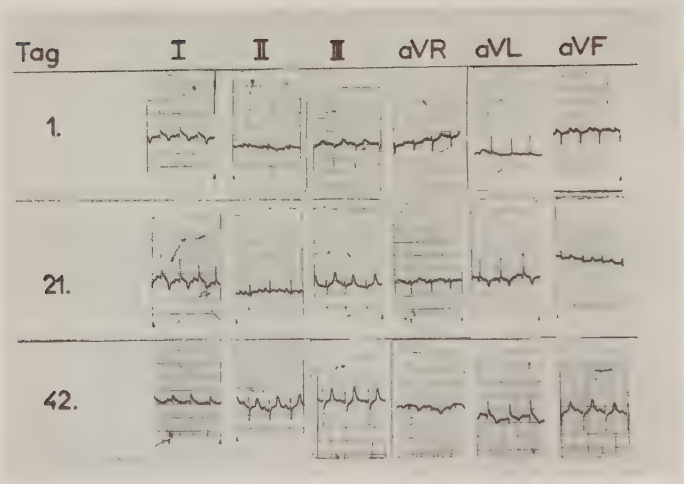

Abb. 8) Extremitätenableitung Ferkel 20/4.
In Ableitung I finden sich ausnahmslos positive Kammerkomplexe, während die Entwicklung in Ableitung aVF genau entgegengesetzt verläuft. Hier sind bis auf eine Ausnahme (21. Tag) alle QRS-Summen negativ. Der Frontalvektor liegt in dem gesamten Untersuchungszeitraum zwischen + 7^{o} und - 45^{o} und ist somit stark linksorientiert.

c) In der Gruppe, die dem Vektormuster c zuzuordnen ist, kommt es durch negative QRS-Summenwerte in Ableitung aVF und positive QRS-Summenwerte in Ableitung I zu einem stark nach links und kranial gerichteten Vektor in dem Sektor zwischen - 20° und - 90°. Dieser Gruppe sind 4 Tiere zuzuordnen (Beispiel Abb. 9 + 10).

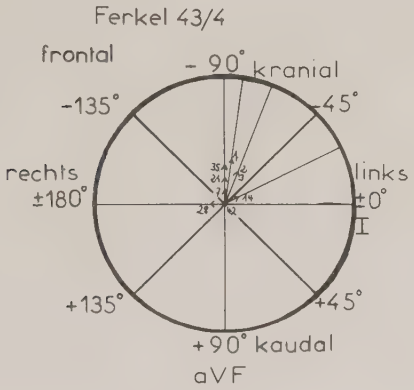

Abb. 9) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel 43/4. Fast ausschließlich negative QRS-Summenwerte in Ableitung aVF und positive bzw. bei ± 0 liegende QRS-Summenwerte in Ableitung I führen zu einem stark links und kranial gerichteten Vektor. Nur am 28. Tag ist die QRS-Summe in Ableitung I negativ und in Ableitung aVF gleich 0, so daß dieser Vektor von allerdings geringer Größe rechtsorientiert erscheint.

EKG-Beispiele vom 1., 21. und 42. Tag von Ferkel 43/4

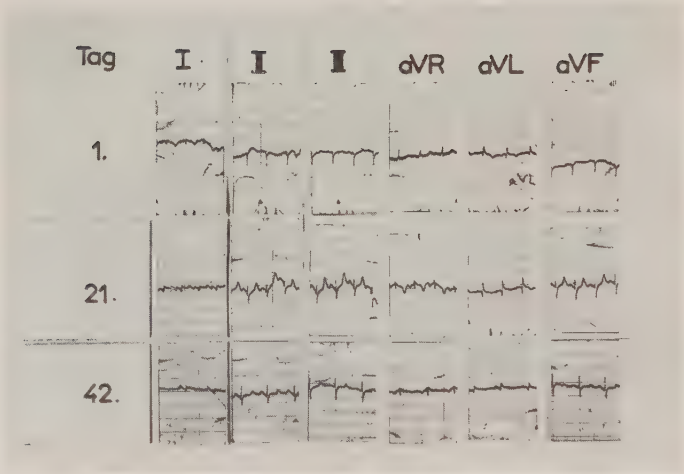

Abb. 10) Extremitätenableitung Ferkel 43/4
In diesem Fall weisen die Kammerkomplexe nur relativ geringe Potentiale auf, sie liegen in der Ableitung I meist bei $\pm$ 0 bzw. im positiven Bereich, während in Ableitung aVF nur negative bzw. $\pm$ 0 (42. Tag) betragende QRS-Summen vorliegen. Der frontale Vektor verläuft hauptsächlich in dem Bereich von - 45° bis - 90°.

Die Untersuchung der Vektoren der Tiere der 1. Gruppe (1. - 6. Lebenswoche) im Hinblick auf ihre Richtungsänderung im Verlaufe der Untersuchungszeit zeigte ein relativ vielfältiges Bild. Bei 17 von insgesamt 26 untersuchten Tieren war eine Bestimmung der Veränderung der Vektoren möglich. Sechsmal konnte eine Wanderung von links kranial nach rechts kaudal und fünfmal eine Wanderung von links kaudal nach links kranial festgestellt werden. Bei 6 Ferkeln waren nur sehr geringfügige Veränderungen zu beobachten, so daß diese im Hinblick auf eine eventuelle Lageveränderung als unverändert (lagekonstant) bezeichnet werden können.

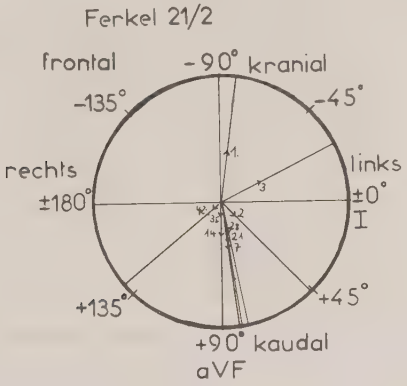

Abb. 11) Beispiel für eine Lageveränderung des QRS-Summenvektors von links kranial nach rechts kaudal (Ferkel 21/2). In den ersten 7 Lebenstagen verläuft die Achse in dem sehr großen Bereich von links kranial bis links kaudal. Dies ist bedingt durch einen ständig positiven QRS-Summenwert in Ableitung I und einen teils positiven und teils negativen QRS-Summenwert in Ableitung aVF. Ab dem 14. Tag sind die QRS-Summenwerte in Ableitung aVF ausschließlich positiv, während sie in Ableitung I sowohl positiv als auch negativ sind. Dies bedingt einen Achsenverlauf, der im Sektor zwischen + 78° und + 140° liegt und am 42. Tag als rechtsorientiert und kaudal verlaufend einzustufen ist.

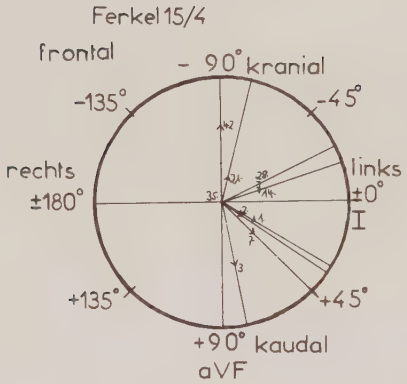

Abb. 12) Beispiel für eine Lageveränderung des QRS-Summenvektors (Ferkel 15/4) von links kaudal nach links kranial. In den ersten 7 Tagen ausschließlich positiver QRS-Summenwert in Ableitung aVF bei ebenfalls positiver QRS-Summe in Ableitung I. Daraus resultiert ein nach links und kaudal orientierter Achsenverlauf. Vom 14. Tag an führt ein fortlaufend negativer QRS-Summenwert in Ableitung aVF bei immer noch positiver QRS-Summe in Ableitung I zu einer Achsenverlagerung nach links und kranial. Am 42. Tag liegt die Achse bei positivem QRS-Summenwert in Ableitung aVF und einer QRS-Summe von $\pm$ 0 in Ableitung I bei - 90°.

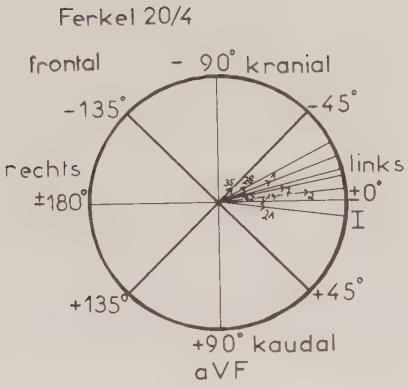

Abb. 13) Beispiel für lagekonstante Vektoren (Ferkel 20/4). In diesem Fall ändert sich der Achsenverlauf nicht sehr stark. Dieses resultiert aus einem ständig positiven QRS-Summenwert in Ableitung I, dem eine, bis auf eine Ausnahme, immer negative QRS-Summe in Ableitung aVF gegenübersteht. Die Achsen verlaufen in dem Bereich zwischen + 7° und - 45° und sind demzufolge alle linksorientiert.

2) Untersuchungen an 6 Läuferschweinen von der 6. bis zur 12. Lebenswoche in Brustbauchlage und rechter Seitenlage.

a) Brustbauchlage

Bei 4 von 6 in Brustbauchlage (BBL) untersuchten Tieren ist der QRS-Summenwert in Ableitung I stets negativ, ebenso wie der QRS-Summenwert in Ableitung aVF. Aus diesem Grunde befinden sich sämtliche Vektoren in dem rechten oberen kranialen Quadranten des Koordinatensystems, (Beispiel Abb. 14, 15).

Bei dem fünften in BBL untersuchten Tier dieser Gruppe finden sich in sämtlichen abgeleiteten EKG positive QRS-Summenwerte in Ableitung I und negative QRS-Summenwerte in Ableitung aVF, so daß sämtliche Vektoren in dem linken oberen kranialen Quadranten des Koordinatensystems zu finden sind (Abb. 16).

In den in BBL abgeleiteten EKG des sechsten Ferkels ist die QRS-Summe in Ableitung I stets negativ, während dieser Wert in Ableitung aVF immer positiv ist. Aus diesem Grund befinden sich sämtliche Vektoren in diesem Fall in dem rechten unteren kaudalen Quadranten des Koordinatensystems (Abb. 17).

b) Rechte Seitenlage

Bei drei Tieren dieser Gruppe ist in rechter Seitenlage (RSL) die QRS-Summe in Ableitung I durchweg positiv, ebenso die QRS-Summe in Ableitung aVF. Aus diesem Grunde liegen sämtliche Vektoren in dem linken unteren kaudalen Quadranten des Koordinatensystems (Beispiel Abb. 14).

Bei Ferkel 2013/50 ist in RSL die QRS-Summe in Ableitung I negativ, in Ableitung aVF dagegen positiv, so daß diese Vektoren alle im rechten unteren kaudalen Quadranten zu finden sind (Abb. 15).

Bedingt durch ständig negative QRS-Summenwerte in Ableitung I sowie fortwährend positive QRS-Summen in Ableitung aVF kommt es bei Ferkel 2030/12 zu einem kaudal gerichteten Achsenverlauf, der bei beiden Körperla-

gen im rechten unteren Quadranten zu finden ist (Abb. 17). Ein durchweg negativer QRS-Summenwert in Ableitung I, sowie eine negative QRS-Summe in Ableitung aVF führt bei Ferkel R 126 in rechter Seitenlage zu einem Achsenverlauf, der nach kranial und rechts orientiert ist (Abb. 16).

Bei der Betrachtung der für beide Körperlagen ermittelten Vektoren fällt auf, daß bei keinem Tier ein unregelmäßiges Vektorenverhalten festzustellen ist, sondern daß sich die Vektoren bei gleichbleibender Körperhaltung während des gesamten Untersuchungszeitraumes in nur einem Quadranten des Koordinatensystems befinden.
Bei einem Wechsel der Körperlage zeigte sich bei 5 von 6 untersuchten Tieren eine Änderung der Vektorrichtung.
In drei Fällen liegen die Vektoren der in BBL und RSL abgeleiteten Elektrokardiogramme sich im Koordinatensystem sogar gegenüber (Beispiel Abb. 14), während zweimal ein Wechsel der Vektorrichtung in einem benachbarten Quadranten auftritt (Abb. 15, 16). Nur bei einem Tier befinden sich die Vektoren für beide Körperlagen in einem Quadranten (Abb. 17), obwohl sie auch hier nebeneinander liegen, d.h. es tritt keine Überlagerung beim Wechsel der Körperlage auf.

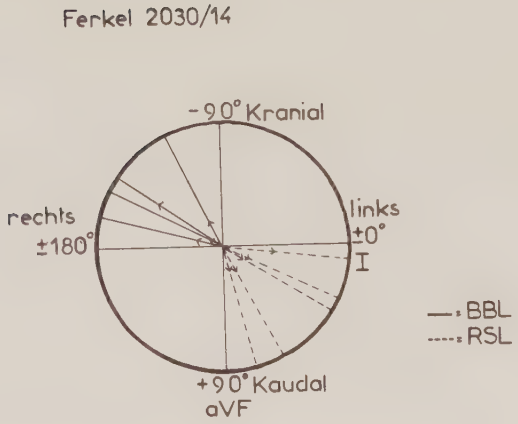

Abb. 14) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel 2030/14 zwischen der 6. und 12. Lebenswoche in Brustbauchlage (BBL) sowie in rechter Seitenlage (RSL). Die Achsenverläufe für beide Körperlagen gleichen denen von zwei anderen Tieren dieser Untersuchungsgruppe.

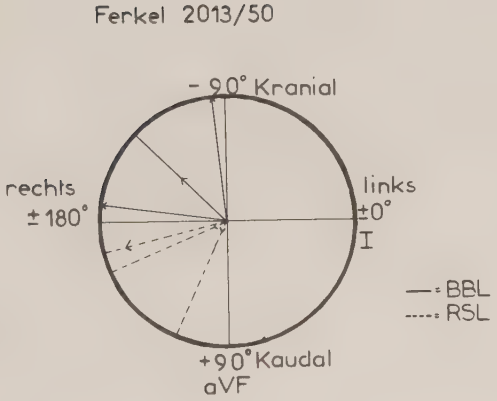

Abb. 15) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel 2013/50 zwischen der 6. und 12. Lebenswoche in Brustbauchlage (BBL) sowie in rechter Seitenlage (RSL). In BBL sind die QRS-Summenwerte sowohl in Ableitung I als auch in Ableitung a VF negativ, so daß die Achsen sich im rechten oberen kranialen Quadranten des Koordinatensystems befinden. In RSL bleiben die QRS-Summenwerte in Ableitung I negativ, während die QRS-Summe in Ableitung aVF positiv wird, so daß bei dieser Körperlage die Vektoren sich im rechten unteren kaudalen Quadranten des Koordinatensystems befinden.

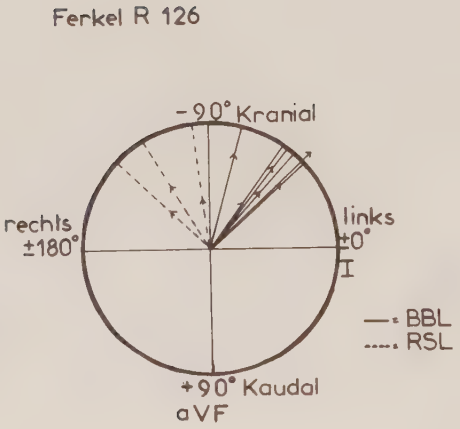

Abb. 16) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel R 126 zwischen der 6. und 12. Lebenswoche in Brustbauchlage (BBL) sowie in rechter Seitenlage (RSL). In BBL sind sämtliche QRS-Summen in Ableitung I negativ, ebenso wie in Ableitung aVF. Aus diesem Grunde befinden sich die Vektoren im rechten oberen kranialen Quadranten des Koordinatensystems. In RSL dagegen sind die QRS-Summenwerte in Ableitung I alle positiv, während die QRS-Summen in Ableitung aVF negativ bleiben.
Dies führt zu einem Achsenverlauf in kranialer Richtung, der im linken oberen Quadranten zu finden ist.

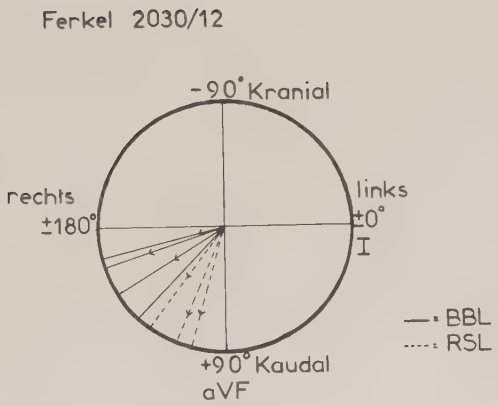

Abb. 17) Lage der QRS-Summenvektoren bei Ferkel 2030/ 12 zwischen der 6. und 12. Lebenswoche in Brustbauchlage (BBL) sowie in rechter Seitenlage (RSL). In beiden Körperlagen bedingen fortwährend negative QRS-Summen in Ableitung I, sowie positive QRS-Summen in Ableitung aVF einen Achsenverlauf, der im rechten unteren kaudalen Quadranten des Koordinatensystems zu finden ist.

3) Morphologische Untersuchungen

Da die Größe und Richtung der Vektoren maßgeblich von der Form des Herzens und somit auch von der Dicke der Ventrikelwand beeinflußt werden, wurde an Herzen von totgeborenen Ferkeln und an Herzen von Ferkeln, die im Verlauf der ersten sechs Lebenswochen verendeten oder getötet werden mußten, die Wandstärke des rechten und linken Ventrikels gemessen und die dabei gefundenen Werte zueinander in Beziehung gesetzt. Gleichartige Untersuchungen wurden auch an Herzen von ausgewachsenen Schlachtschweinen vorgenommen.

Für die Ermittlung der Werte für das Ferkel standen 38 Herzen zur Verfügung, die in 4 Gruppen eingeteilt wurden:

Gruppe I:	Totgeborene Tiere,	6 Herzen
Gruppe II:	1 - 3 Tage alte Tiere,	12 Herzen
Gruppe III:	3 - 14 Tage alte Tiere,	10 Herzen
Gruppe IV:	2 - 6 Wochen alte Tiere,	10 Herzen

Für die Bestimmung der Werte beim erwachsenen Tier wurden die Ventrikelwandstärken links bzw. rechts in der bereits beschriebenen Form bei 50 Schlachtschweinen ermittelt.

Bei den Herzen der totgeborenen Tiere betrug der Quotient Ventrikelwanddicke links zu Ventrikelwanddicke rechts (LV/RV) im Durchschnitt 1,29. Bei den 1-3 Tage alten Ferkeln stieg dieser Wert auf 1,36 und bei den 3-14 Tage alten Tieren betrug er schon 1,85.
Mit 2,51 erreicht dieser Quotient bei den 2-6 Wochen alten Ferkeln einen Wert, der deutlich die unterschiedliche Entwicklung der Wandstärken erkennen läßt. (Tabelle 1).
Die absoluten Werte der Wandstärkenmessungen beim erwachsenen Tier weisen relativ große Unterschiede auf, da keine Möglichkeit bestand, die Tiere nach Konstitution oder Kondition zu sortieren. Der Quotient gebildet aus Ventrikelwandstärke links zu Ventrikelwandstärke rechts (LV/RV) ergab einen Durchschnittswert von 2,96 (Tabelle 2).

Anzahl	Totgeboren			1-3 Tage			3-14 Tage			2-6 Wochen		
	LV	RV	LV/RV	LV	RV	LV/RV	LV	RV	LV/RV	LV	RV	LV/RV
1	5	4	1.25	3	3	1.00	8	4	2.00	10	5	2.00
2	4	3	1.33	5	3	1.66	6	4	1.50	11	5	2.20
3	7	5	1.40	4	3	1.33	8	5	1.60	10	5	2.00
4	5	4	1.25	3	3	1.00	7	4	1.75	12	6	2.00
5	6	5	1.20	4	3	1.33	8	4	2.00	13	5.5	2.36
6	4	3	1.33	5	3	1.66	7	5	1.40	9	2	4.50
7				3	2	1.50	5	2	2.50	6	2.5	2.40
8		$\bar{X}$ = 1.29		4	3	1.33	7	4	1.75	12	5	2.40
9				3	2	1.50	6	4	1.50	11	5	2.20
10				3	2	1.50	5	2	2.50	6	2	3.00
11				5	4	1.25						
12				4	3	1.33		$\bar{X}$ = 1.85			$\bar{X}$ = 2.51	
					$\bar{X}$ = 1.36							

Tabelle 1)
Ventrikelwanddicken links (LV) und rechts (RV), sowie das Wandstärkenverhältnis links zu rechts (LV/RV) bei totgeborenen Ferkeln und Ferkeln im Alter von 1 - 3 Tagen, 3 - 14 Tagen, sowie im Alter von 2 - 6 Wochen. Angabe des Mittelwertes für den Quotienten LV/RV. Die Wandstärken sind in mm angegeben.

Nr.	LV	RV	LV/RV	Nr.	LV	RV	LV/RV	Nr.	LV	RV	LV/RV	Nr.	LV	RV	LV/RV
1	15	5	3.00	14	17	6	2.83	27	15	5	3.00	39	16	7	2.29
2	20	8	2.50	15	16	5	3.20	28	18	7	2.57	40	18	6	3.00
3	19	8	2.38	16	16	5	3.20	29	15	5	3.00	41	18	8	2.25
4	20	6	3.33	17	17	5	3.40	30	25	10	2.50	42	16	6	2.67
5	18	6	3.00	18	15	5	3.00	31	18	7	2.57	43	16	6	2.67
6	20	6	3.33	19	17	6	2.83	32	20	7	2.86	44	15	5	3.00
7	15	6	2.50	20	15	5	3.00	33	16	6	2.67	45	18	4	4.50
8	15	5	3.00	21	16	6	2.67	34	16	6	2.67	46	15	6	2.50
9	20	7	2.86	22	16	5	3.20	35	20	6	3.33	47	19	6	3.17
10	14	4	3.50	23	20	7	2.86	36	16	5	3.20	48	20	7	2.86
11	18	5	3.60	24	15	5	3.00	37	18	7	2.57	49	19	6	3.17
12	20	6	3.33	25	20	7	2.86	38	20	6	3.33	50	19	6	3.17
13	18	6	3.00	26	18	6	3.00								

$\bar{x}$ 2.96

Tabelle 2)

Ventrikelwanddicken links (LV) und rechts (RV) bei 50 ausgewachsenen Schlachtschweinen mit einem Körpergewicht von 90 - 120 kg, sowie das Wandstärkenverhältnis links zu rechts (LV/RV). Angabe des Mittelwertes für den Quotienten LV/RV. Die Wandstärken sind in mm angegeben.

E. DISKUSSION

Gegenstand dieser Arbeit war es festzustellen, ob mit Hilfe der beim Schwein selten angewandten bipolaren bzw. unipolaren Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN bzw. WILSON/GOLDBERGER sicher reproduzierbare Kurvenzüge im EKG von Ferkeln und Läuferschweinen registriert werden können. Dabei sollte geklärt werden, ob und in welcher Weise die sogenannte postnatale physiologische Rechtshypertrophie auch im EKG des Ferkels zu erkennen ist und zu welcher Zeit im Verlaufe der Ontogenese das EKG-Muster dem des erwachsenen Tieres, nämlich der sogenannten physiologischen Linkshypertrophie entspricht. Die Verlaufsuntersuchungen konnten nicht in rechter Seitenlage durchgeführt werden, da diese Körperposition von wachen Tieren dieser Rasse nicht geduldet wurde. Aus diesen Gründen wurde eine Körperhaltung gewählt, die praktisch einer EKG Abnahme im Stehen entspricht. Der Rumpf wurde dabei durch die Hilfsperson so unterstützt, daß die Vorderextremitäten im rechten Winkel zur Körperlängsachse und parallel zueinander lagen. Unter diesen Bedingungen war es möglich, gut auswertbare Elektrokardiogramme aufzuzeichnen.

Wegen der zeitweise ohnehin schwer zu kontrollierenden Abwehrreaktion nach dem Anlegen neuer Elektroden wurde auch auf eine Registrierung von Brustwandableitungen verzichtet. Außerdem ist bei der Vektorprojektion mittels der unipolaren Brustwandableitungen infolge der Herznähe mit größeren Fehlermöglichkeiten zu rechnen (KÜHN 1968), als dies bei der Projektion mittels der Extremitätenableitung wahrscheinlich ist.

1) Untersuchungen in den ersten 6 Lebenswochen

Trotz der gegenüber Mensch, Hund, Affe, Katze und Ratte (HAMLIN et al. 1965) unterschiedlichen Erregungsausbreitung am Schweineherzen war anzunehmen, daß auch hier als Folge der veränderten Wandstärkenverhältnisse in den ersten 6 Lebenswochen entsprechende EKG-Bilder auftreten.

Der Verlauf der QRS-Achsen am ersten Lebenstag gibt keinen deutlichen Hinweis auf überwiegend rechts oder links orientierte Kammerkomplexe, sondern zeigt vielmehr eine gleichmäßige Verteilung der QRS-Vektoren im Koordinatensystem. Die bereits am 14. Lebenstag erkennbare Verschiebung der numerischen Relationen zugunsten der linksorientierten QRS-Vektoren stellt sich nicht so eindeutig dar, wie das bei anderen Tieren, z.B. beim Hund (TRAUTVETTER 1971), Meerschweinchen (SCHWARTZE 1970) oder Pavian (CHERKOVICH et al. 1970) der Fall ist. EKG-Zeichen, die als charakteristisch für die sogenannte postnatale physiologische Rechtshypertrophie zu bezeichnen wären, lassen sich im einzelnen Fall nicht immer eindeutig nachweisen. In dem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß auch beim erwachsenen Schwein meines Wissens für das hier gewählte Ableitungssystem keine typischen EKG-Veränderungen bekannt sind, die auf eine Rechtshypertrophie hinweisen.

Ob und inwieweit anatomische Besonderheiten des Ferkelherzens, wie Lage und Größenwachstum des rechten Ventrikels der Grund für die nicht eindeutige Entwicklung zu linksorientierten Vektoren sind, kann hier nicht beantwortet werden. Die Ergebnisse der von mir durchgeführten morphologischen Untersuchungen lassen einen diesbezüglichen Rückschluß nicht zu.

Ob individuelle Wachstumsschübe am Herzen, wie sie DEEGEN (1975) für seine Untersuchungen an Fohlen diskutiert, die eine größere Streuung der Vektoren als bei

den o.a. Tierarten erkennen lassen, hierbei eine Rolle spielen, kann auch hier nur als Möglichkeit in Betracht gezogen werden.
Röntgenologische Untersuchungen an 5 Wochen alten Ferkeln zeigten, daß das Herz des Ferkels mit seiner Längsachse in diesem Alter mehr kaudoventral gerichtet ist, als dies z.B. beim Hundewelpen der Fall ist, während bei 10-wöchigen Läuferschweinen schon eine merkbar steilere Lage des Herzens auffällt. Diese Befunde könnten eine Erklärung dafür sein, daß beim Ferkel und Läuferschwein eine weniger einheitliche Entwicklung der QRS-Summenvektoren erfolgt, wie beim Hund in dem gleichen Lebensalter.
Zusätzliche vektorkardiographische Untersuchungen könnten die Entwicklung von rechts- zu linksorientierten Kammervektoren genauer erfassen, jedoch bestand hier die Absicht, anhand der Extremitätenableitungen Entwicklung und Lage des QRS-Vektors zu untersuchen.
Bei 14 Ferkeln der 1. Gruppe (1. bis 6. Lebenswoche) ergaben sich gewisse Gemeinsamkeiten im Vektorverlauf, so daß man, geordnet nach dem jeweiligen Vektortyp von verschiedenen Mustern sprechen kann. Die in Abbildung 4 getroffene Einteilung erschien zur Darstellung des Materials zweckmäßig.
Besonders in der Ableitung I sind gelegentlich atemphasenabhängige Amplitudendifferenzen aufgetreten. Diese Tatsache wurde durch das Mitteln von fünf aufeinanderfolgenden QRS-Komplexen auszugleichen verursacht. Eine andere Möglichkeit wäre die Registrierung und Auswahl aus einer bestimmten jeweilig gleichen Atemphase gewesen. Bei dieser Methode läßt es sich jedoch nicht ganz vermeiden, daß möglicherweise systematisch stärker negative (kleinere R-Zacken) oder stärker positive (größere R-Zacken) ausgewählt werden.
Um feststellen zu können, ob die mittels einer Simultanregistrierung aufgezeichneten Kurvenzüge im EKG wesentliche Unterschiede zu der hier angewandten Ableitungs-

methode aufweisen, wurden von 10 Ferkeln Elektrokardiogramme mit einem Dreikanalschreiber abgeleitet. Zuerst wurden die Ableitungen einzeln nacheinander aufgezeichnet, anschließend wurde eine Simultanregistrierung durchgeführt. Hierbei konnte deutlich nachgewiesen werden, daß die Kurvenzüge der EKG bei beiden Methoden der Registrierung in ihrer Ausschlagshöhe- und Richtung keine Abweichungen voneinander zeigten.
So hat z.B. auch HILL (1968) seine grundlegenden Untersuchungen über den QRS-Vektor beim Hund mit der hier angewendeten Technik durchgeführt.
Weitere Faktoren, die die Registrierung der EKG in Hinsicht auf ihren Kurvenverlauf beeinflussen können, sind die unterschiedliche Hautdicke sowie Hautdurchblutung. So muß man davon ausgehen, daß eine stärkere Hautdicke bzw. Fettschicht und Bemuskelung zu einer Erhöhung des Widerstandes führt, so daß in einem solchen Fall die Amplituden nicht in ihrer vollen Größe aufgezeichnet werden können.

2) Untersuchungen am Läuferschwein

Um die Reproduzierbarkeit der QRS-Ausschläge im Alter zwischen 6 und 12 Wochen zu überprüfen sowie einen evtl. Einfluß eines Wechsels der Körperlage festzustellen, wurden auch am Läuferschwein zwischen der 6. und 12. Lebenswoche Verlaufs- und Vergleichsuntersuchungen in zwei verschiedenen Körperlagen durchgeführt. Die Sedation der zwischen 22 und 25 kg schweren Tiere mit 0,5 mg/kg AZAPERON [1] war unumgänglich, da ansonsten wegen der zeitweise heftigen Abwehrbewegungen das Aufzeichnen auswertbarer Elektrokardiogramme nicht möglich gewesen wäre. Obwohl auch hier verschiedene Vektortypen zu erkennen waren, unterschieden sich die QRS-Vektoren der einzelnen

1) STRESNIL

Untersuchungstage beim einzelnen Tier nur wenig voneinander. Sowohl in Brustbauchlage als auch in rechter Seitenlage waren einwandfrei auswertbare und reproduzierbare EKG-Kurven zu registrieren. Beim Wechsel der Körperlage zeigen 5 der 6 Tiere eine Änderung der Vektorrichtung (Abb. 14, 15, 16).
Die Untersuchungen in der 2. Gruppe (6. bis 12. Lebenswoche) haben gezeigt, daß bei Änderung der Körperlage (BBL, RSL) die Vektoren bis auf eine Ausnahme in die entgegengesetzte Richtung oder aber in den Nachbarquadranten wechselten. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der Untersuchungen am Hund (KÜHN 1968). Hier geht der Wechsel von Brustbauchlage zur rechten Seitenlage nur mit geringfügigen Veränderungen der Ausschlagsrichtung der Kammerkomplexe einher.
Die Veränderung der Vektorrichtung beim Schwein ließe sich am einfachsten und konsequentesten mit einer Änderung der topographischen Herzlage erklären, allerdings müßten dazu anatomische oder angiokardiographische Untersuchungen durchgeführt werden.
Die Tatsache, daß 4 von 6 QRS-Vektoren in Brustbauchlage in einem Quadranten liegen, könnte die Annahme von der Existenz bestimmter Vektormuster unterstützen. Einflüsse auf die Ausschlagsrichtung durch die Sedation sind unwahrscheinlich, aber nicht vollständig auszuschließen.

3) Morphologische Untersuchungen

Die Entwicklung der Wandstärken des linken und rechten Ventrikels verläuft beim Schwein dergestalt, daß die Ventrikelwandstärken links schon bald nach der Geburt wesentlich größer erscheint, als die Ventrikelwandstärke rechts. So beträgt der aus diesen beiden Werten gebildete Quotient bei einer Körperlänge des Ferkels

von 45 cm 1,1 - 1,7 während er bei einer Körperlänge von 50 cm schon zwischen 1,6 und 2,2 zu finden ist (GLAUS 1958). Auch beim Hundewelpen ist man zu ähnlichen Ergebnissen gekommen (WALCH, HOSTETTER 1967). Dem Zusammenhang zwischen dem Gewicht des rechten Ventrikels im Verhältnis zum Ventrikelgesamtgewicht und dem im rechten Ventrikel herrschenden Druck kommt eine große Bedeutung zu, da eine Rechtshypertrophie und die damit verbundene Gewichtszunahme des rechten Ventrikels mit Sicherheit von dem in diesem Herzabschnitt herrschenden Druck beeinflußt wird (AVERILL et al. 1963). Der systolische Blutdruck gleicht sich in den ersten 10 Lebenstagen (AVERILL et al. 1963) bzw. bis zur 5. bis 6. Lebenswoche dem Wert des adulten Tieres an (RUDOLPH et al. 1961). Die unterschiedlichen Wandstärkenverhältnisse lassen sich auch durch ein nach der Geburt einsetzendes , schnelleres Wachstum des linken Ventrikels erklären, dem ein langsameres Wachsen des rechten Ventrikels bei unveränderter Wandstärke gegenübersteht. Bei dieser Betrachtungsweise läßt sich weniger von einer "Atrophie" der rechten Ventrikelwand als von einem Verschieben der Relationen sprechen (YUANG, RUDOLPH 1964).
Die Ergebnisse der von mir durchgeführten morphologischen Untersuchungen weichen nicht oder nur sehr unwesentlich von den aus der Literatur bekannten Werten ab. Ein gleichsinniger Verlauf der EKG-Kurven in diesem Lebensabschnitt, der sichere Rüchschlüsse auf die Wandstärkenverhältnisse am Herzen zulassen würde, konnte bei den durchgeführten Untersuchungen nicht eindeutig nachgewiesen werden.

F. ZUSAMMENFASSUNG

An 26 Ferkeln der Deutschen Landrasse wurden elektrokardiographische Verlaufsuntersuchungen von der Geburt bis zur 6. Lebenswoche durchgeführt. Gleichartige Untersuchungen wurden auch an 6 Läuferschweinen derselben Rasse von der 6. bis zur 12. Lebenswoche vorgenommen. Als Ableitungsprogramme kamen die bi- bzw. unipolaren Extremitätenableitungen nach EINTHOVEN bzw. WILSON-GOLDBERGER zur Anwendung.

Obwohl im Verlauf der Vektorentwicklung Schwankungen in der Rechts-Linksverteilung auftreten, besteht gegenüber 12:14 am 1. Untersuchungstag ein numerisches Übergewicht der linksgerichteten Vektoren von 9 : 17 am 42. Untersuchunstag, welches aber nicht so eindeutig ist, wie bei anderen Tierarten, die nach derselben Methode untersucht wurden.

Bei 14 von 26 Ferkeln lassen sich 3 Vektormuster erkennen.

Die Vektorwanderung verläuft teils nach links (5Vektoren, von links kaudal nach links kranial), teils nach rechts (6 Vektoren, von links kranial nach rechts kaudal). Einige Vektoren bleiben im Untersuchungszeitraum lagekonstant.

Die Ergebnisse der zwischen der 6. und 12. Lebenswoche in Sedation durchgeführten Untersuchungen lassen erkennen, daß in diesem Altersabschnitt die Vektorenverläufe nicht so starke Richtungsänderungen aufweisen, wie in den ersten 6 Lebenswochen. In beiden Körperlagen (Brustbauchlage und rechte Seitenlage) weisen die Vektoren bei dem einzelnen Tier eine relativ konstante Lage auf, wechseln jedoch bei 5 von 6 Tieren bei Änderung der Körperposition die Richtung.

Die EKG-Ausschläge ändern sich zwischen den einzelnen Un-

tersuchungen kaum. Bei gleichbleibender Körperlage ergeben die bi- bzw. unipolaren Extremitätenableitungen gut reproduzierbare Kurvenzüge und Ausschlaghöhen.
Bei den Vergleichsuntersuchungen zwischen BBL und RSL zeigen die QRS-Vektoren bei 5 von 6 Tieren eine Vektorverlagerung in einen anderen Quadranten des Koordinatensystems. Die möglichen Ursachen für diese Verlagerung der Vektoren bei einem Wechsel der Körperlage werden diskutiert.
Die Ergebnisse der Untersuchungen der Ventrikelwandstärke rechts bzw. links geben einen deutlichen Hinweis darauf, daß sich das Wachstum des rechten Ventrikels im Vergleich zum linken schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt verändert. Der Quotient rechts zu links ändert sich rasch zugunsten des linken Ventrikels und nähert sich im Alter von 2 - 6 Wochen mit 2,5 dem Durchschnittswert für erwachsene Schlachtschweine von 2,96.

Summary

Electrocardiographic studies in 26 piglets of the "Deutsche Landrasse" were carried out from the date of birth until to the sixth week of life.
Similar studies were also carried out in 6 pigs of the same breed between the sixth and twelfth week of life. Bipolar and unipolar limb leads (EINTHOVEN/ WILSON/ GOLDBERGER) were used as lead programs.
Although the vector evolution shows variations concerning the right to left distribution the QRS-vector changes from 12 right to 14 left orientated QRS-vectors on the first day to a distribution of 9 right to 17 left orientated QRS-vectors in the 42nd day, although this development is not as clear as in other animals which were studied with the same method.
14 of the 26 piglets show three types of a vector. The migration of the vector partly moves to the left (5 vectors, from left caudal to left cranial), partly to the right (6 vectors, from left cranial to right caudal). Some vectors do not change their positions during the time studies were carried out.
The results of the studies carried out in sedation between the sixth and twelfth week of life show that at this age the course of the vector does not change as intensely as during the first 6 weeks of life.
In the single pig the vector shows in both positions of the body (sternal position and recumbency position) a relatively constant state, but change their direction in 5 from 6 animals when the body position is altered.
The amplitudes of the ECG do hardly change from test to test. If the body position ist not changed the bi- and unipolar limb leads show well reproducable traces and amplitudes in the ECG.
In the comparative tests between the two body positions (Thoraco-abdominal position and right lateral position) the QRS-vectors of 5 from 6 pigs show a change of the vector to another quadrant of the coordination-system.
The possible reasons for this change of the vectors when the body-position is altered are discussed.

The results of the studies on the thickness of the right and left ventricular wall give a clear hint that the growth of the right ventricle compared with the left is slowing down at a very early moment. The quotient right to left changes rather quickly in favour of the left ventricle and with an amount of 2,5 approaches at an age of 2 to 6 weeks the average quotient for adult pigs of 2,96.

G. LITERATURVERZEICHNIS

Averill, K.H.
Wagner, W.W.
Vogel, J.H.W.
1963
Correlation of right ventricular pressure with right ventricular weight
American Heart Journal 66, 632

Cherkovich, G.M.
Ruttkay-Nedecky, I.
1967
Ontogenetic changes in the QRS of the baboon vectorcardiogram
Physiologia bohemoslov. 16, 264

v. Engelhardt, W.
1962
Untersuchungen am Schwein über die Systolen- und Diastolendauer des Herzens und über den Blutdruck in der Ruhe und während der Erholung nach körperlicher Belastung
Zbl. Vet. med. A 10 , 39-50

Glaus, A.
1958
Systematische und statistische Untersuchungen am Schweineherzen.
Vet. med. Dissertation, Zürich

Hamlin, R.L.
Smith, Cr.
1963
Categorisation of Common Domestic Mammals Based upon their ventricular activation process
ANN. N. Y. Acad. Sci. 127, 195-203

Hausmann, O.W.
1934
Das Elektrokardiogramm des Hausschweins
Vet. med. Dissertation, München

Helm, R.A.
1956
Vectorcardiographic notation
Circulation 13, 581

Hill
The electrocardiogram in Dogs with Standardized Body and Limb Positions
Journal Electrocardiology, 1, 175-182

Hill
1968 b
The significance of foreleg positions in the interpretation of electrocardiograms and vectorcardiograms from research animals
American Heart Journal, Vol. 75, No. 4, 518-527

Höller, H.
1939
Vergleichende elektrokardiographische Untersuchungen an normal gefütterten und eiweißmangelernährten Schweinen
Berl. Münch. tierärztliche W schrift 72, 265-269

Holl
1912
Makroskopische Darstellung des atrioventrikulären Verbindungsbündels am menschlichen und tierischen Herzen.
Arch. f. Anatomie und Entwicklungsgeschichte: Anat. Abtl. des Arch. f. Anatomie und Physiologie,
1912, 62-104

Kammermann
1923
Beitrag zur Anatomie und Histologie des atriventrikulären Bündels (His) bei unseren Haustieren.
Vet. med. Dissertation, Bern

Krzywanek, F.W.
Ruud, G.
1944
Die Veränderung des Elektrokardiogramms beim sogenannten Herztod der Schweine.
Tierärztliche Zeitschr. 1944, 23-25

Kühn, D.
1968
Die Vektoren im EKG des gesunden Hundes. Vet. med. Dissertation, Berlin

Lyhs, L.
Wachtel, W.
1966
Über den Einfluß körperlicher Belastung auf einige Kreislauffunktionen beim Schwein.
Arch. experimentelle Vet. med. 20, 1057 - 1063

v. Mickwitz, G.
1967
Herz- und Kreislaufuntersuchungen beim Schwein unter Berücksichtigung des Elektrokardiogramms und des Phonokardiogramms.
Vet. med. Habilitationsschrift, Hannover

Rudolph, A.M.
Aulf, P.A.M.
Golinko, R.J.
Paul, M.H.
1961
Pulmonary vascular adjustments in the neonatal period.
Pediatrics, 27, 28

Schwartze, H.
1970
Beiträge zur Anwendung der Vektorkardiographie als entwicklungsphysiologische Untersuchungsmethode.
Acta biol. med. germ. 24, 313

Sommer, O.A.
1967
Über Transportverluste und Transportschäden bei Schlachtschweinen.
Schweinezucht und Schweinemast, 15, 96-98

Spörri, H.
1954/1
Untersuchungen über die Systolen- und Diastolendauer des Herzens bei verschiedenen Haustierarten und ihre Bedeutung für die Klinik und Beurteilungslehre.
Schweiz, Arch. Tierhk. 96, 593-604

Derselbe
1954/2
Warum ist das Schwein für den Herztod prädisponiert?
Zbl. Vet. med. 1, 799 - 809

Derselbe
1966
Vergleichende Untersuchungen über die Herzdynamik der Haustiere mit besonderer Berücksichtigung des Schweines.
Arch. experimentelle Vet. med. 20, 1083 - 1090

Steinhardt, M.
1966
Beziehungen zwischen Temperaturregulation und Kreislauf beim Schwein.
Arch. experimentelle Vet. med. 20, 1091-1100

Trautvetter, E.
1971
Untersuchungen zur EKG-Entwicklung an gesunden Welpen und Welpen mit angeborenen Pulmonalstenosen.
Vet. med. Habilitationsschrift, Berlin

Walch, A.
Hostetter, R.
1967
Analysis of the QRS-vector in beagle-pups from 3 to 24 days of age.
University of Pennsylvania, School of Veterinary medicine (unveröffentlicht)

Wensing, C.J.
1965
Innervation des atrioventrikulären Reizleitungssystems beim Schwein
Zbl. Vet. med. A 12, 531-533

Wolters, M.
1974
Untersuchungen zur Bestimmung der Vektorschleifen im Kammerteil des Elektrokardiogramms bei Pferden.
Vet. med. Dissertation, Berlin

Yuang, S.
Rudolph, A.M.
1964
Relationship between right ventricular pressure and right ventricular weight
Circulation suppl. 30, 180

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. E. Trautvetter für die Überlassung des Themas sowie bei den Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere und des Instituts für Tierzucht und Tierernährung für ihre freundliche Unterstützung.

L E B E N S L A U F

Am 16. März 1949 wurde ich, Joachim Gauglitz, als Sohn des Finanzbeamten Erich Gauglitz und seiner Ehefrau Ruth, geb. Mertsching in Celle/Niedersachsen geboren. Nach einer vierjährigen Grundschulzeit von 1955 - 1959 besuchte ich das Hermann-Billung-Gymnasium in Celle, welches ich im Mai 1967 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Im Juli 1967 trat ich in die Bundeswehr ein, um eine freiwillige Dienstzeit von drei Jahren abzuleisten. Ein schwerer Sportunfall führte zu meiner vorzeitigen Entlassung im September 1969. Im Wintersemester 1969/70 begann ich mit dem Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin. Die tierärztliche Vorprüfung legte ich im Sept. 1971 ab. Nachdem ich auch sämtliche klinischen Semester an der Freien Universität Berlin belegt hatte, schloß ich das Studium mit dem Staatsexamen im Dez. 1974 ab. Meine Bestallung als Tierarzt erhielt ich am 10. Jan. 1975. In der sich daran anschließenden Zeit habe ich als Assistent in der Praxis gearbeitet, sowie vorliegende Dissertation angefertigt. Seit Oktober 1977 bin ich als praktischer Tierarzt an einer Gemeinschaftspraxis in Niedersachsen beteiligt.